یاحقّ...
المپیادی شدن رؤیا نیست
از اول تا آخرش باهاتیم
آیریسک
کانون دانش‌پژوهان ایران

دفترچه سؤالات مرحله دوم

شانزدهمین المپیاد نجوم و اخترفیزیک

سال برگزاری	تعداد سؤالات	زمان پاسخ‌گویی
۱۳۹۹	۷	دقیقه

توضیحات مهم

استفاده از ماشین‌حساب مجاز است.

لطفاً قبل از شروع پاسخ‌گویی به سؤالات، این قسمت را به دقت بخوانید برای خواندن این قسمت ۱۰ دقیقه وقت اضافه در نظر گرفته شده است.

۱) این آزمون حاوی ۷ سؤال تشریحی است. مجموع کل نمره این آزمون ۱۰۰۰ نمره است که بسته به نوع سؤالات بین ۷ سؤال توزیع شده است. در سؤالاتی که بخش‌های الف و ب و ج و ... دارند نمره هر بخش به تفکیک داده شده است. بعد از برگزاری آزمون پاسخ‌های تشریحی و بارم‌بندی دقیق پاسخ سؤالات منتشر خواهد شد به گونه‌ای که هر دانش‌آموز می‌تواند نمره خود را در هر بخش از هر سؤال، حساب کند.

۲) در سؤالاتی که به جواب عددی منتهی می‌شوند، دقت پاسخ داده شده است. در این سؤالات نمره پاسخ نهایی وقتی داده خواهد شد که پاسخ نهایی در محدوده دقت باشد. منظور از محدوده دقت این است که اگر پاسخ نهایی A و دقت پاسخ X باشد جواب‌هایی که در بازه $[A-X\ ,\ A+X]$ باشند پذیرفته خواهند شد. مثلاً فرض کنید در یک سؤال از شما خواسته باشند یک زاویه را حساب کنید و دقت پاسخ را در یک درجه داده باشند. فرض کنید جواب درست ۱۳۵ درجه باشد، در این صورت اگر جواب شما بزرگ‌تر و مساوی ۱۳۴ و کوچک‌تر و مساوی ۱۳۶ باشد نمره پاسخ نهایی را خواهید گرفت. در غیر این صورت نمره پاسخ نهایی شما صفر است. توجه داشته باشید که این موضوع فقط مربوط به پاسخ نهایی سؤال است و شامل بخش‌های دیگر پاسخ نمی‌شود مثل نوشتن روابط لازم و حل معادلات، رسم شکل و ... اگر در سؤالی دقت جواب نهایی داده نشده باشد، مقدار پیش‌فرض X برابر است با $X = ۰/۱A$.

۳) در بعضی از بخش‌های بعضی از سؤالات علامت (کوتاه پاسخ) دیده می‌شود. "کوتاه پاسخ" سؤالی است که فقط جواب نهایی آن نمره دارد. لازم نیست در این سؤالات مشروح محاسبات را در پاسخ‌نامه بنویسید. نوشتن جواب نهایی کافی است. اگر جواب نهایی در بازه دقتِ جواب درست باشد نمره کامل داده خواهد شد. دقت کنید که هر جا علامت کوتاه پاسخ دیده شد، فقط همان قسمت کوتاه پاسخ است. بقیه بخش‌های سؤال باید به طور معمول به شکل تشریحی پاسخ داده شوند. مثلاً اگر در کنار بخش ب) از یک سؤال علامت کوتاه پاسخ دیده شد، فقط بخش ب) شامل کوتاه پاسخ می‌شود بخش‌های الف) و ج) و ... باید به طور تشریحی پاسخ داده شوند. بعضی از کوتاه پاسخ‌ها تستی هستند. در این مورد فقط دور گزینه درست خط بکشید. کوتاه پاسخ‌های تستی نمره منفی ندارند. اگر در کوتاه پاسخ تستی بیش از یک گزینه علامت زده شود نمره صفر داده می‌شود.

۴) دقت کنید که تمامی مقادیر ثابت باید از جدول ثوابت که در ابتدای سؤالات آمده گرفته شوند. اگر شما خواستید سؤالی را از یک روش ابتکاری و جدید حل کنید و نیاز به ثابتی داشتید که در جدول ثوابت نبود حتماً آن ثابت را در ابتدای پاسخ خود به سؤال، داخل کادر بنویسید. در این مورد اگر راه‌حل شما درست باشد و پاسخ شما هم در محدوده دقت باشد نمره کامل خواهید گرفت.

۵) توجه کنید که سؤال دوم، قسمت الف، **کوتاه پاسخ نیست.** در این قسمت باید مشروح محاسبات مربوط به روش برازش خطی در پاسخ‌نامه نوشته شود. اگر از برازشگر داخلی ماشین حساب استفاده کنید و فقط مقدار A و B به دست آمده از ماشین حساب را بنویسید، نمره‌ای به شما تعلق نمی‌گیرد.

۶) برای دقت و خوانایی بیشتر و ممانعت از محدودیت‌های نرم‌افزار میکروسافت ورد فارسی، در این آزمون از اعداد انگلیسی استفاده شده است. شما در پاسخ نامه می‌توانید به اختیار خود از اعداد فارسی و یا انگلیسی استفاده کنید.

ثوابت فیزیکی و نجومی

کمیت		مقدار	
G	ثابت جهانی گرانش	$m^3 s^{-2} kg^{-1}$	$۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}$
c	سرعت نور	ms^{-1}	$۳/۰۰\times۱۰^{۸}$
σ	ثابت استفان- بولتزمن	$W m^{-2} K^{-4}$	$۵/۶۷\times۱۰^{-۸}$
Ly	سال نوری	m	$۹/۴۶\times۱۰^{۱۵}$
pc	پارسک	m	$۳/۰۹\times۱۰^{۱۶}$
AU	واحد نجومی	m	$۱/۵۰\times۱۰^{۱۱}$
$M_\odot$	جرم خورشید	kg	$۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}$
$R_\odot$	شعاع خورشید	m	$۶/۹۶\times۱۰^{۸}$
$L_\odot$	درخشندگی خورشید	W	$۳/۸۵\times۱۰^{۲۶}$
$M_\odot$	قدر مطلق خورشید		۴/۸۳
$m_\odot$	قدر ظاهری خورشید		-۲۶/۷
$T_\odot$	دمای مؤثر سطح خورشید	K	۵۸۸۰
R_m	شعاع ماه	km	۱۷۳۷
r_m	فاصله متوسط ماه از زمین	km	۳۸۴۴۰۰
$M_\oplus$	جرم زمین	kg	$۵/۹۷\times۱۰^{۲۴}$
$R_\oplus$	شعاع زمین	km	۶۳۸۰
ε	تمایل محور زمین		$۲۳^\circ/۵$

محاسبات و نکته‌های مهم

سؤالات مرحله دوم المپیاد نجوم و اختر فیزیک سال ۱۳۹۹

سؤال اول (۱۵۰ نمره)

ناظری در ظهر روز انقلاب تابستانی، در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی، یک شاخص عمودی را روی سطح تراز شدهٔ زمین نصب می‌کند و می‌خواهد به کمک ساعت خود سرعت چرخش سایه شاخص روی زمین را اندازه‌گیری کند. مقدار این سرعت برحسب ثانیه قوس بر ثانیه چقدر است؟ (دقت پاسخ ۱ ثانیه قوس بر ثانیه).

سؤال دوم (۱۵۰ نمره)

میزان انرژی نورانی که یک جرم نجومی در طول موج‌های مختلف تابش می‌کند، یکسان نیست. تحلیل این تابش جزء اصلی‌ترین تحلیل‌هایی است که ستاره‌شناسان از طریق آن شکل‌گیری و تکامل کهکشان‌های دوردست را بررسی می‌کنند. تابع توزیع انرژی طیفی (SED) تابعی است که میزان شدت تابش در هر بازه طول موج را نشان می‌دهد. در جدول زیر توزیع انرژی طیفی ستاره دوتایی HD۱۳۹۷۴ داده شده است. در این جدول ستون اول از چپ طول موج برحسب میکرومتر ($1\ \mu m = 10^{-6}\ m$) و در ستون دوم شدت تابش برحسب میلی جانسکی ثبت شده است (جانسکی واحد شدت تابش است هر جانسکی برابر است با 10^{-26} وات بر متر مربع بر استرادیان).

شدت تابش (mly)	طول موج (μm)
$(6{,}2 \pm 0{,}1) \times 10^4$	$1{,}5 \pm 0{,}1$
$(4{,}0 \pm 0{,}1) \times 10^4$	$2{,}0 \pm 0{,}1$
$(2{,}2 \pm 0{,}1) \times 10^4$	$3{,}0 \pm 0{,}1$
$(1{,}6 \pm 0{,}1) \times 10^4$	$3{,}6 \pm 0{,}1$
$(0{,}9 \pm 0{,}1) \times 10^4$	$5{,}0 \pm 0{,}1$
$(3{,}8 \pm 0{,}2) \times 10^3$	$7{,}0 \pm 0{,}1$
$(1{,}6 \pm 0{,}2) \times 10^3$	$10{,}0 \pm 0{,}1$
$(3{,}0 \pm 0{,}2) \times 10^2$	$17{,}0 \pm 0{,}1$
$3{,}0 \pm 0{,}2$	$70{,}0 \pm 0{,}1$

به نظر می‌رسد تابع توزیع انرژی (SED) از مدل زیر تبعیت کند

$$F(\lambda) = Be^{A\ln(\lambda)}$$

محاسبات و نکته‌های مهم

که در آن λ طول موج، $F(\lambda)$ شدت تابش و A و B مقادیر ثابت یا پارامترهای مدل هستند.

الف) با استفاده از داده‌ها و روش برازش خطی، بهترین مقدار پارامترهای مدل را پیدا کنید. (دقت محاسبه A برابر ۰٫۱ و دقت محاسبه B برابر ۱۰۰ میلی جانسکی؛ ۵۰ نمره)

ب) دو مورد از منشأهای ممکن خطا در پارامترهای تخمین زده شده را ذکر کنید؟ (۱۰ نمره)

ج) در پاسخنامه نمودار لگاریتمی داده شده است. داده‌ها را با نقطه و مدل را به صورت خط روی نمودار لگاریتمی رسم کنید. (۳۰ نمره)

د) با ذکر دلیل بیان کنید آیا مدل ارائه شده به دقت تابع توزیع تابش ستاره دوتایی را توصیف می‌کند. (۴۰ نمره)

(کوتاه پاسخ) **هـ)** با استفاده از مدل به دست آمده تخمین بزنید به ازاء کدام طول موج برحسب میکرومتر، این دوتایی ۰٫۰۰۱ Jy را ساطع می‌کند. (دقت ۱۰ میکرومتر؛ ۲۰ نمره)

محاسبات و نکته‌های مهم

سؤال سوم (۱۸۰ نمره)

می‌دانیم که مسیر حرکت اجسام تحت تأثیر نیروهای عکس مجذوری به صورت مقاطع مخروطی است.

الف) برای توصیف حرکت ذره در صفحه از مختصات r (شعاع) و θ (زاویه) استفاده می‌کنیم. مرکز نیرو را یک سیاره به جرم سنگین M در نظر بگیرید که در مبدأ مختصات می‌باشد. یک شهاب سنگ با جرم m در نظر بگیرید که با این سیاره برهمکنش می‌کند و می‌تواند در هر کدام از مقاطع مخروطی باشد. می‌دانیم مسیر حرکت شهاب سنگ از رابطه

$$r(\theta) = \frac{r_0}{1+\epsilon\cos\theta}$$

پیروی می‌کند. با استفاده از ثابت بودن انرژی (E) و تکانه زاویه‌ای (L)، r_0 و ϵ را برحسب L و E و m و M و G (ثابت گرانش) به دست آورید. (۴۰ نمره)

ب) حال فرض کنید یک شهاب سنگ از بی‌نهایت دور با پارامتر برخورد b و سرعت اولیه v_0 به سمت منظومه شمسی پرتاب می‌شود. فقط اثر گرانشی خورشید در نظر گرفته و بررسی کنید چه شرطی بر روی پارامترهای اولیه شهاب سنگ باشد تا شعاع حضیض مدار شهاب سنگ برابر شعاع حرکت مداری کره زمین بشود. (۷۰ نمره)

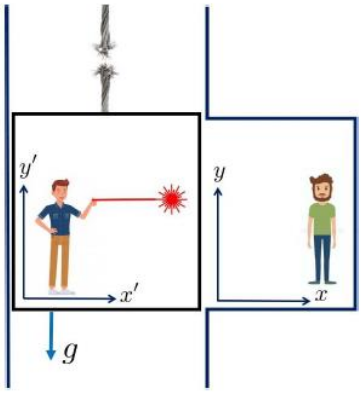
ج) حال فرض کنید این شهاب سنگ با کره زمین برخورد کاملاً ناکشسان می‌کند. بررسی کنید تحت چه شرطی این برخورد می‌تواند زمین را در یک مدار نامقید قرار دهد و در نتیجه از منظورهٔ شمسی خارج شود. فرض کنید برخورد لحظه‌ای و در لحظه برخورد بردار سرعت شهاب سنگ و کر» زمین در خلاف جهت هم باشند. (۷۰ نمره)

در کل این مسئله حرکت مداری زمین را دایروی در نظر بگیرید.

سؤال چهارم (۱۰۰ نمره)

طبق نظریه نسبیت عام اینشتین می‌دانیم که در میدان گرانشی یک جسم، فقط ناظرهایی که آزادانه سقوط می‌کنند، مسیر نور را مستقیم می‌بینند. همانند شکل زیر دو دوست فیزیکدان یکی در آسانسور (علی) و دیگری در یکی از طبقات ساختمان (سامان) روبه‌روی هم (در سکون) ایستاده‌اند. ناگهان در زمان $t = 0$ کابل آسانسور پاره می‌شود و آسانسور و علی سقوط آزاد می‌کنند (از اثرات اصطکاکی صرف‌نظر می‌کنیم).

محاسبات و نکته‌های مهم



در این شرایط علی و سامان تصمیم می‌گیرند که آزمایشی انجام بدهند. علی یک باریکه لیزر را همزمان با پاره شدن کابل در $t=0$ دقیقاً موازی کف آسانسور (محور x') ارسال می‌کند. طبق «اصل هم ارزی» علی می‌بیند که مسیر لیزر «همواره» (قبل از برخورد به دیواره) یک خط مستقیم و موازی کف آسانسور است.

(کوتاه پاسخ) **الف)** معادله حرکت پرتو لیزر را نسبت به مختصات $(x'\cdot y')$ بنویسید. (۱۰ نمره)

(کوتاه پاسخ) **ب)** معادله حرکت آسانسور را در مختصات سامان $(x.y)$ بنویسید. (۱۰ نمره)

ج) معادله مسیر پرتو لیزر را در مختصات سامان به صورت $y(x)$ بنویسید؟ (۲۰ نمره)

د) شعاع انحنای نقطه‌ای، R یک منحنی به معادله $y(x)$ از رابطه

$$\frac{1}{R}=\left|\frac{y''}{(1+y'^{2})^{3/2}}\right|$$

به دست می‌آید که در آن پرایم به معنی مشتق‌گیری و دو پرایم به معنی مشتق دوم است. با استفاده از این رابطه شعاع انحنای مسیر حرکت باریک لیزر را از دید سامان دقیقاً در لحظه ساطع شدن آن بیابید. مبدأ دستگاه‌ها را به طرز مناسب انتخاب کنید تا محاسبات راحت شود. (۳۰ نمره)

هـ) این شعاع را برای میدان گرانشی در سطح زمین حساب کنید. (۱۰ نمره)

و) حال فرض کنید که یک باریکه نور در اطراف یک جسم بسیار چگال در حرکت است طوری که شعاع انحنای حرکت این باریکه با شعاع جسم برابر است. رابطه جرم و شعاع این جسم را بیابید. این جسم چه موجود فیزیکی می‌تواند باشد؟ (۲۰ نمره)

سؤال پنجم (۱۶۰ نمره)

در دهه ۳۰ میلادی اندره دانژون (Andre′ Danjon)، منجم فرانسوی حداقل جدایی زاویه‌ای بین ماه و خورشید، برای مشاهده پذیر شدن هلال‌های جوان پس از مقارنه ماه و خورشید را 7° تعیین کرد. علت این امر ممانعت عوارض سطحی (مانند کوه‌ها و پستی و بلندی‌های لبه ماه) از تابش هلال نازک به خاطر جلوگیری از عبور نورشان است. این جدایی زاویه‌ای **حدّ دانژون** نام گرفت. مدت‌ها رصدی حتی به کمک ابزارهای

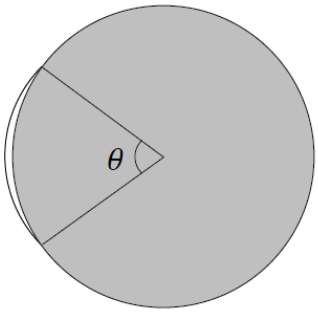
محاسبات و نکته‌های مهم

قدرتمند در جدای زاویه‌ای کمتر از این مقدار ثبت نشد و این حد مورد قبول بود. با این حال رصد در پرتوهای فروسرخ نشان می‌دهد در زوایای کمتر از حد دانژون نیز هلال تشکیل خواهد شد؛ زیرا در طول موج‌های بلندتر پراکندگی در جو کمتر و درصد عبور نور بیشتر است.

(کوتاه پاسخ) **الف)** لبه ماه را صاف و کروی شکل در نظر بگیرید. با توجه به حد تفکیک چشمانِ تیزبین (یک دقیقه قوس) کمترین جدایی زاویه‌ای بین ماه و خورشید برای تفکیکِ ضخامت هلال با چسم غیر مسلح چند درجه خواهد بود؟ (۶۰ نمره)

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۱۵ ۴) ۳۰

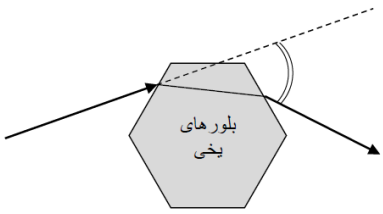
ب) تصویر مقابل ماه را هنگامی که جدایی زاویه‌ای بین ماه و خورشید ۵٫۲ درجه است نشان می‌دهد. اگر در این هنگام گشودگی هلالِ روشن ماه (زاویه θ، طول کمان هلال از دید مرکز قرصِ ماه) در تصویر 70° باشد. بلندیِ ارتفاعات لبهٔ ماه را برحسب کیلومتر به دست آورید (دقت پاسخ ۰٫۱ کیلومتر؛ ۱۰۰ نمره).



سؤال ششم (۱۰۰ نمره)

در بعضی از روزها و شب‌های سرد، ابرهای سیروس و سیروِاستراتوس در ارتفاعات ۵ تا ۱۴ کیلومتری زمین تشکیل می‌شوند، در این موقع گاهاً هاله‌ای به شعاع 22° در اطراف خورشید یا ماه در آسمان دیده می‌شود که در تصویر زیر مشخص است. (شکل ۱)

(شکل ۱)



(شکل ۲)

این هالهٔ **۲۲ درجه‌ای** ناشی از شکست نور در بلورهای یخ آب است، که منشورهایی ۶- ضلعی منتظم ایجاد کرده‌اند و مطابق با تصویر مسیر نور را عوض می‌کنند (شکل ۲).

محاسبات و نکته‌های مهم

الف) زاویه انحراف نورهای خروجی نسبت به نورهای ورودی با توجه به زوایای مختلف تابش، در بازه‌ای تغییر می‌کند که می‌دانیم کمینه آن در اطراف 22° است و این امر سبب می‌شود که در این زاویه از قرص خورشید و یا ماه، شاهد پرتوهای رسیده بیشتری به ناظرانِ این پدیده جوی باشیم. ضریب شکست این بلورها چقدر است؟ راهنمایی: حداقل زاویه انحراف نور از یک منشور، زمانیست که زوایای ورودی و خروجی نور از سطوح یکسان باشند. (دقت ۰٫۰۱ واحد؛ ۷۰ نمره)

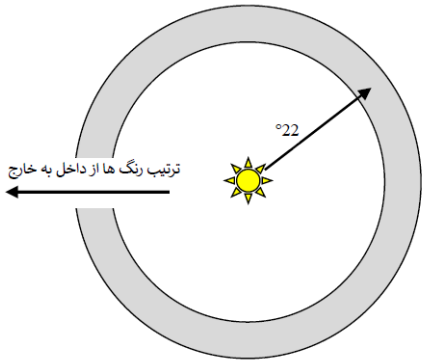
(کوتاه پاسخ) **ب)** اگر در شکل ۳ بخش خاکستری رنگ نشان‌دهنده هاله نورانی باشد ترتیب رنگ‌ها از داخل به خارج چگونه است؟ (۳۰ نمره)

۱) آبی- سبز- زرد- نارنجی- قرمز

۲) قرمز- نارنجی- زرد- سبز- آبی

۳) بسته به شرایط متغیر است

۴) اصلاً نجزیه نور نداریم



شکل ۳

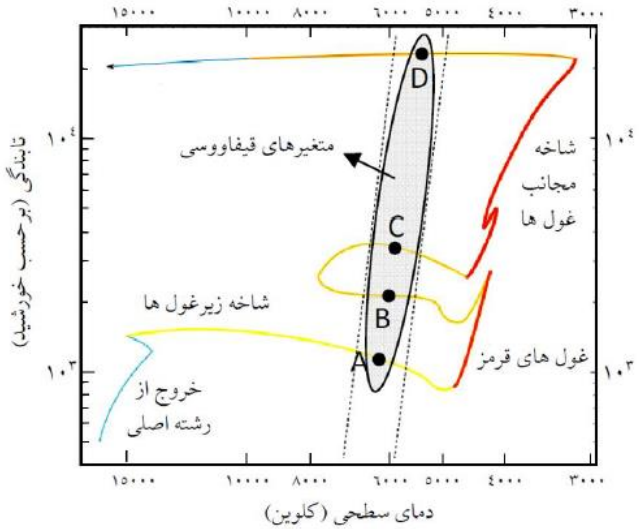
سؤال هفتم (۱۶۰ نمره)

کهکشان کوتوله کروی UGC۱۰۸۲۲ در راستای صورت فلکی اژدها، از جمله اقمار کهکسانی راه شیری است که در سال ۱۹۵۴ میلادی توسط آلبرت جورج ویلسون کشف شد. اخیراً در این کهکشان یک ستاره متغیر با مسیر تحولی زیر بر روی نمودار HR، مشاهده شده است که به نظر می رسد در دسته‌بندی متغیرهای قیفاووسی قرار گیرد. اگر رابطهٔ «دوره تناوب- تابندگی متغیرهای قیفاووسی» برای متوسط قدر مطلقِ مرئی آن‌ها به شکل زیر باشد

$$M_V = -۲٫۴۳\,(\log_{۱۰} P - ۱) - ۴٫۰۵$$

که در آن P دوره تناوب برحسب روز و M_V متوسط قدر مطلق مرئی است. همچنین در رصد مشخص شده است که نور این ستاره با دوره تناوب ۶٫۰۳ روز تغییر می‌کند.

محاسبات و نکته‌های مهم

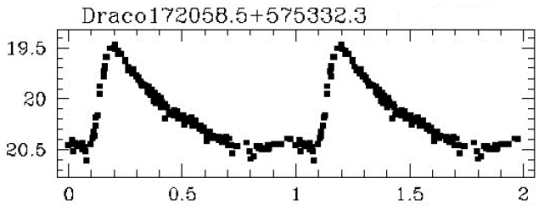


(کوتاه پاسخ) **الف)** مشخص کنید مکان این ستاره هم اکنون در کدامیک از نقاطِ داده شده روی مسیر تحولی بر روی این نمودار است. (۲۰ نمره)

۱) اطراف نقطه A ۲) اطراف نقطه B ۳) اطراف نقطه C ۴) اطراف نقطه D

ب) شعاع این ستاره به‌طور متوسط چند برابر شعاع خورشید است؟ (دقت ۵ واحد؛ ۳۰ نمره)

ج) اگر نمودار تغییرات قدر ظاهری در فازهای مختلف برای این متغیر به صورت زیر باشد، با فرض اینکه این ستارگان در پرنورترین و کم‌نورترین حالت شعاعی یکسان دارند، نسبت دمای بیشینه روشنایی به دمای کمینه روشنایی را به دست آورید. (دقت ۰٫۰۵ واحد؛ ۴۰ نمره)



د) می‌دانیم در راستای مشاهده این کهکشانِ کوتوله (که در عرض کهکشانی $b = ۳۴/۶^\circ$ قرار دارد)، به اِزاء هر یک کیلوپارسک فاصله، ۰٫۰۵ قدر جذب داریم. مشخص کنید فاصله این کهکشان تا ما چند پارسک است؟ (دقت ۱ کیلوپارسک؛ ۷۰ نمره)

توجه: در این مسئله «تابندگی» معادل «درخشندگی مطلق» و معادل کل توان تابشی ستاره برحسب وات بر متر مربع است.

محاسبات و نکته‌های مهم

آیریسک
کانون دانش‌پژوهان ایران

- آشنایی و برنامه‌ریزی المپیادهای علمی
- اطلاع‌رسانی تمام اخبار المپیادی کشور
- مشاوره و کلاس‌های آنلاین
- آزمون‌های آنلاین المپیاد
- معرفی منابع و فروشگاه کتاب آنلاین

برای دریافت، تصویر بالا را اسکن یا
"المپیاد آیریسک" را جستجو کنید.

@irysccom @irysc iran.olympiad